

마이크로가스터빈의 부하에 따른 상용 수소흡장냉동기의 성능 최적화에 관한 연구

김형식[†], 손화승, 최경식
한국가스공사 연구개발원 이용기기연구센터

Study on the Performance Optimization of Commercial Metal Hydride Refrigerator Powered by Exhaust Gas from Micro Gas Turbine

Hyoungsik Kim[†], Wha-seung Sohn, Kyoung-shik Choi

Center for Gas Utilization Tech., R&D Division, KOGAS, Ansan 425-790, Korea

(Received March 10, 2005; revision received July 7, 2005)

ABSTRACT: MHR (Metal Hydride Refrigerator) powered by MGT exhaust gas is investigated to find out the optimum conditions corresponding to MGT operating powers. There are many factors to affect cooling capacity of MHR. In this study, the effect of switching time, flow rate of brine on cooling temperature and capacity is investigated. The present results show (1) hydrogen reaction is saturated with 25min switching time at 25 kW MGT power, (2) cooling power shows maximum phenomenon with increasing switching time, (3) optimum switching times are 20 minutes for 15kW MGT power and 15 minutes for 20, 25kW MGT power, (4) according to increasing brine flow rate, cooling capacity shows decrease at 15kW MGT power and changes little at above 20kW MGT power.

Key words: Metal hydride refrigerator(수소흡장냉동기), Micro gas turbine(마이크로가스터빈), Optimum operating condition(최적작동조건), Cooling capacity(냉동능력)

1. 서 론

마이크로가스터빈 열병합 발전시스템은 유지보수가 편리하고 경제성이 우수하며, 특히 공해배출이 적고 도심 사용을 위한 소음이 적다는 장점 등으로 인하여 국내 열병합 발전시스템 분야에 보급 확대에 대한 기대감이 매우 높은 설비이다.⁽¹⁾ 그리고 마이크로가스터빈의 열병합 설비와 결합하여 폐열을 회수하여 전체 효율을 높일 수 있는 장비로서 수소흡장냉동기가 주목받고 있다.⁽²⁾ 수소흡장냉동기의 경우 단지 금속과 수소의 반응에

너지를 이용함으로써 환경친화적이며, 하절기에만 사용되는 에어컨과는 달리 연중 사용할 수 있는 영하의 냉동을 발생시킬 수 있다는 점에서 효율적인 이용 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 하지만 영하의 냉동을 이용한다는 관점에서 보면 계절별, 주야별 부하패턴에 따라 충분한 냉동능력을 내지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 일본 JSW(Japan Steel Works)의 기술로 생산한 상용 수소흡장냉동기에 대해 마이크로가스터빈의 부하에 따른 냉동능력 특성을 분석하였으며, 특히 마이크로가스터빈의 저부하 상태에서의 수소흡장냉동기의 전환시간, 브라인의 유량에 따른 냉동능력 특성을 분석하고자 하였다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-400-7463; fax: +82-31-406-1495

E-mail address: hskim@kogas.or.kr

2. 실험장치 및 방법

2.1 마이크로가스터빈

마이크로가스터빈은 미국 칩스톤사의 30 kW급이다. Table 1에 마이크로가스터빈의 성능사양을 나타내었다. 열효율은 최대 25%이다. 그리고 Fig. 1에 부하별 배기가스의 온도와 유량에 대한 그래프를 나타내었다. 배기가스의 온도는 최고 부하에서 약 260℃를 상회하는 수준이다.

2.2 수소흡장냉동기

수소흡장냉동기는 수소저장합금의 수소흡착시의 발열반응과 방출시의 흡열반응을 이용한 냉동시스템이다. 그리고 수소의 흡착과 방출은 수소압과 온도를 조작해서 이루어진다.

본 실험에 사용한 수소흡장냉동기의 경우 일본 제강소에서 설계하고 주식회사 서립에서 제작한 30 kW급 마이크로가스터빈에 열병합설비로 부착

되는 기종으로서 냉각수온도 20℃에서 최대 9,460 Kcal/h의 냉동능력을 보인다. Table 2와 Fig. 2는 수소흡장냉장고의 사양과 설치현장사진이다.

Fig. 3은 수소흡장냉동기의 개념도이다. 기본적인 부속품으로 발열/흡열 반응이 일어나는 고온(A, B), 저온(C, D) 용기가 A-C, B-D로 배관으로 연결되어 있다. 그리고 고온용기는 배열을 받거나 수냉시킬 수 있도록 마이크로가스터빈의 배기구와 냉각탑에 연결되어 있다. 저온용기는 수소의 흡착시 발열반응을 냉각시킬 수 있도록 냉각탑과 연결되어 있고, 또한 브라인을 출력할 수 있도록 브라인 순환라인과 연결되어 있다.

냉방사이클의 시작은 먼저 마이크로가스터빈의 배열에 의해 A용기의 합금을 가열해시키면 수소가 방출되면서 A-C 용기의 압력이 0.99 MPa까지 상승한다. 이러한 압력상승에 의해 C용기에서 수소흡착반응이 일어나는데 이때의 발열반응은 냉각수가 흐르는 판형열교환기에 의해 냉각되어 40℃를 유지시킨다. 한편 배열에 의해 수소가 방출

Table 1 MGT performance specification

Characteristics	Performance
Power	28 kW NET (±1)
Thermal efficiency	25%
Fuel flow	440,000 J/hr
Exhaust temp.	275℃
Exhaust mass flow	0.31 kg/s
Total exhaust energy	327,000 kJ/hr

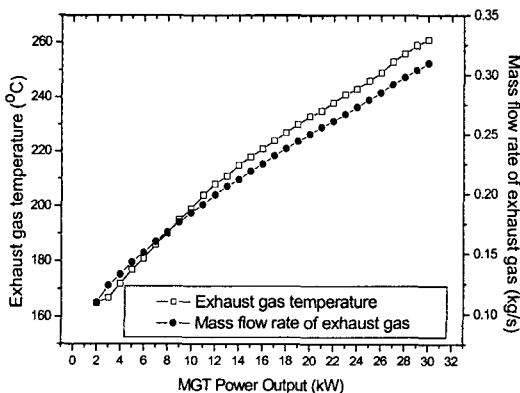


Fig. 1 Exhaust gas temperature and mass flow rate of micro gas turbine.

Table 2 MHR specifications

Characteristic	Specification
Driving heat source	Exhaust gas
Refrigeration temp.	Min -10℃
Gas temp	285℃
Cooling water	Less than 32℃
Brine	30% methanol
Electricity for controller	AC 220 V
Dimensions (mm)	940×1930×1930



Fig. 2 Installation site.

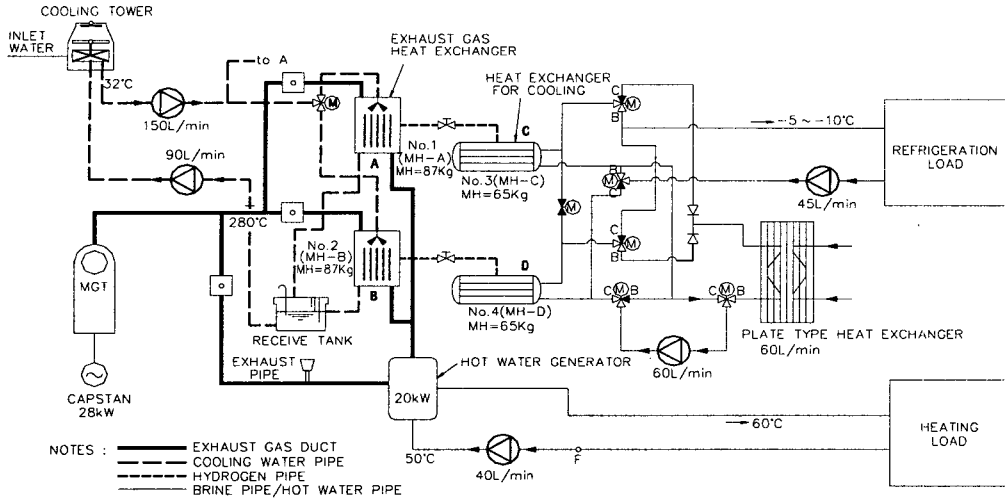


Fig. 3 Conceptual diagram of MHR.

된 고온의 B 용기를 냉각수로 냉각시키면 수소흡착반응이 일어나 B-D 용기의 압력이 0.05 MPa로 떨어지고 이로 인해 D 용기의 금속에서 수소가 방출되면서 흡열반응이 일어나는데 이때 브라인을 순환시켜 냉동을 얻을 수 있게 된다. 이러한 운전이 A-C, B-D에서 교대로 반복되면서 연속적으로 냉동이 이루어지게 된다. 그러므로 반응이 교대되는 전환시간과 브라인의 순환속도는 수소흡장냉동기의 냉동능력을 결정짓는 중요한 요소이다.

2.3 실험방법

마이크로가스터빈의 부하를 15, 20, 25 kW에서 전환시간을 5, 10, 15, 20, 30분으로 변환시키면서 냉각수, 브라인의 입출구 온도와 압력용기의 압력변화를 측정하였다. 그리고 전환시간 15분에서 브라인의 유량을 23, 33, 38, 43 liter/min으로 변화시키며 냉동능력의 변화를 측정하였다. 그리고 한 사이클의 냉동능력을 계산하기 위해 시간에 따른 브라인 입출구 온도차를 도시하고 이를 적분하여 면적을 산출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마이크로가스터빈 부하에 따른 수소의 흡착/방출 반응경향

수소흡장냉동기의 원리는 수소의 흡착과 방출

의 반응에 의해 냉동이 발생된다. 그리고 수소의 흡착과 방출 반응은 온도와 압력의 변화에 의해 진행된다. 즉, 배열을 공급받으면 수소의 방출이 일어나면서 압력용기의 압력이 증가하게 되고, 냉각수에 의해 냉각되면 수소가 흡착되면서 압력이 감소하게 된다. 따라서 압력용기에서의 압력의 변화량은 수소 반응량과 비례하게 된다. Fig.4에 전환시간에 따른 압력용기의 압력변화를 나타내었다. 여기서 전환시간은 반응이 지속되는 시간이다. 그림에서 알 수 있듯이 마이크로가스터빈의 부하가 25 kW에서는 반응시간에 25분 이상이면 수소반응이 포화되는 것으로 나타났고 15, 20 kW 부하에서는 반응시간 30분까지 포화되는 현상이 나타나지 않았다.

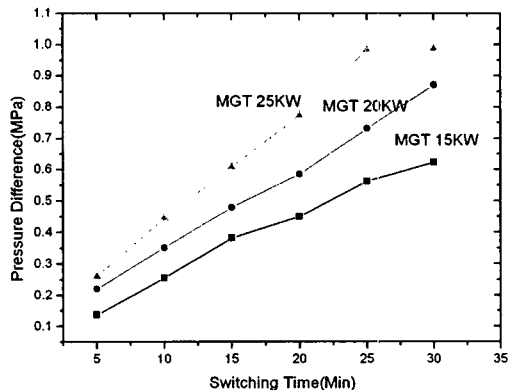


Fig. 4 Pressure difference in vessel.

3.2 전환시간에 따른 냉동능력

Fig. 5는 마이크로가스터빈의 부하 25 kW, 전환 시간 15분, 브라인유량 38 liter/min에서의 냉동능력을 보여준다. 저온측 압력용기 C와 D에서 냉동이 교대로 발생하는 것을 볼 수 있다. 마이크로가스터빈의 배기가스열에 의해 고온용기 A에서 수소가 발생하여 C 용기에서 압력을 증가시킴으로써 수소가 흡착되는 동안, 고온용기 B의 냉각에 의해 수소가 흡착되면서 D 용기의 압력감소에 의해 수소를 방출하며 냉동을 발생하는 상태에 있게 된다. 한 사이클의 구성은 14분간 냉동을 발생시키고 1분간 현열을 회수하고 1분간 브

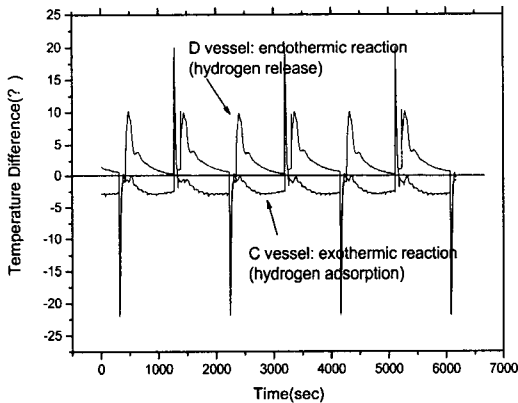


Fig. 5 Cooling output cycles at the condition of 25 kW MGT, 15 min switching time and 38 liter/min brine flow rate.

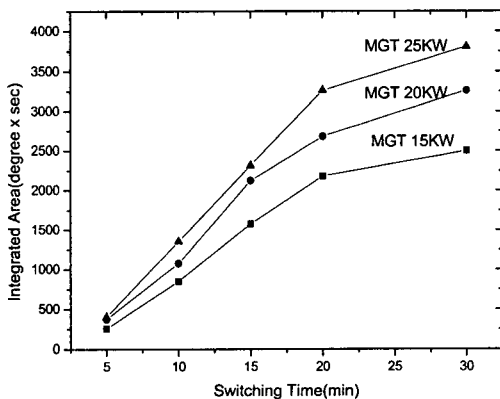


Fig. 6 Integrated area variations with change of switching time.

라인이 혼합되며 브라인 펌프가 정지해 있게 된다. 즉, 전환시간을 15로 하면 실제 냉동을 발생하는 시간은 14분이 되고, 전체 한 사이클의 시간은 16분이 된다. 그림에서의 온도차 그래프의 적분값이 냉동능력의 크기와 직접적인 비례관계가 있다.

Fig. 6에 마이크로가스터빈의 부하별 전환시간에 따른 적분면적을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 한 사이클당 냉동능력은 마이크로가스터빈의 부하가 크고 전환시간이 길수록 커짐을 알 수 있다. 하지만 수소반응의 결과와는 달리 포화되는 경향은 보여주지 않고 있다.

Fig. 7에 마이크로가스터빈의 부하별 전환시간에 따른 냉동능력을 나타내었다. 냉동능력은 앞서서의 적분면적에 비례하게 되지만 전체 냉동능력(kcal/h)은 시간당 전환횟수에 의존하므로 아래의 식에 의해 계산된다.

$$Q = t \times \Delta T \times c \times G \times n$$

여기서 Q =냉동능력, ΔT =브라인의 입출구 온도차, c =비열, G =브라인의 유량, n =시간당 전환횟수이다. 그림에서 알 수 있듯이 마이크로가스터빈의 부하가 클수록 냉동능력이 증가하였으며 전환시간의 증가에 따라 최고값을 나타낸 후 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

최대냉동능력은 25 kW에서 약 5,800 kW인 것으로 나타났다. 이는 최대 냉동능력(냉각수 온도 20°C에서 9,460 Kcal/h)과 큰 차이를 보이고 있는

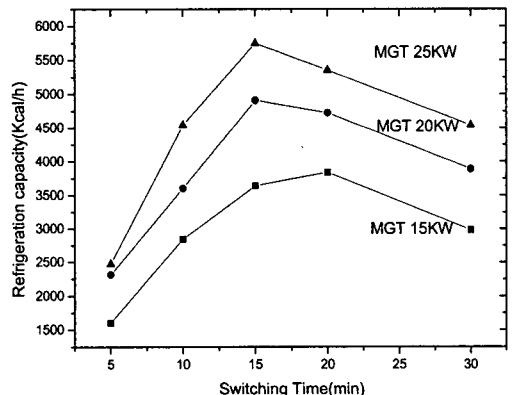


Fig. 7 Refrigeration capacity variations of change of switching time.

데 이는 본 실험에서 냉각수 온도가 25.4℃로 높을 뿐만 아니라, 특히 마이크로가스터빈의 배기가스가 수소흡장냉동기로 이동되는 도중 배관과 A, B 용기에 교대로 배기가스를 공급하게 해주는 밸브 등에서 열손실이 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 부하가 15kW에서 25kW로 증가함에 따라 최대 냉동능력을 나타내는 전환시간이 20분에서 15분을 짧아지는 것으로 나타났다. 이와 같이 최적전환시간이 짧아지는 것은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 마이크로가스터빈의 부하가 높을수록 배기가스의 양이 많아지고 온도가 높아지게 됨으로써 수소의 흡착, 탈착 반응에 대한 구동력이 커지게 되어 최대 냉동능력에 필요한 전환시간이 줄어드는 것으로 판단된다. 또한 이러한 경향은 수소흡장냉동기의 일반적인 경향과 잘 일치하고 있다.⁽³⁾

3.3 브라인의 유량에 따른 냉동능력의 변화

Fig. 8은 브라인의 유량변화에 따른 냉동능력의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 마이크로가스터빈의 부하가 15kW인 경우 브라인의 유량이 증가하면 냉동능력이 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만 마이크로가스터빈의 부하가 20kW 이상인 경우에는 브라인의 유량증가에 따라 냉동능력에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

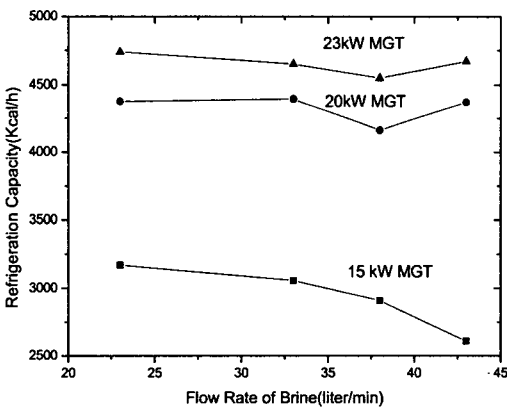


Fig. 8 Refrigeration capacity variations with change of brine flow rate (average cooling water temperature 28.2℃).

3.4 마이크로가스터빈의 부하별 냉동창고의 온도변화

Fig. 9에 마이크로가스터빈의 부하에 따른 냉동창고의 온도변화를 나타냈었다.

그림에서 보는 바와 같이 마이크로가스터빈의 부하가 22kW인 경우에는 수소흡장냉동기를 가동한 지 6시간에 상온에서 최저 냉동온도인 -2℃에 도달하는 것으로 나타났다. 이때 평균 냉각수 온도는 29.2℃였다. 그리고 마이크로가스터빈의 부하가 15kW인 경우에는 가동한 지 8시간에 6℃ 정도가 되었다.

4. 결 론

마이크로가스터빈에 열병합설비로서의 수소흡장냉동기의 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 상용 수소흡장냉동기의 냉동능력은 마이크로가스터빈의 부하가 높아질수록 증가하였으며, 마이크로가스터빈의 부하 25kW, 전환시간 15분, 평균 냉각수 온도 25.4℃에서 최대 냉동능력은 5,800 kW/h로 나타났다.
- (2) 일정 마이크로가스터빈 부하에서 냉동능력은 전환시간이 증가함에 따라 증가하다가 감소하는 최대값 현상을 나타내었다.
- (3) 마이크로가스터빈이 20kW 이상에서는 최대 냉동능력을 나타내는 최적 전환시간이 15분이

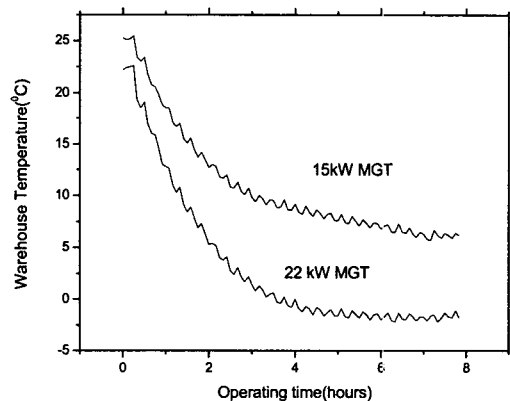


Fig. 9 Temperature variation in 100m³ warehouse.

었으나 15 kW에서는 최적 전환시간이 이보다 긴 20분으로 나타났다.

(4) 마이크로가스터빈의 부하가 22 kW에서 평균 냉각수 온도는 29.2°C일 때 100 m³ 냉동창고의 온도가 최저온도 -2°C까지 6시간에 도달하였다.

참고문헌

1. Sohn, W.S. and Choi, K.S., 2003, Report for Development of Grid Connection Power Technology for on Site Type Micro Gas Turbine, Korea Gas Corporation.
2. Moto, D. and Jo, J.H., 2003, Cogeneration system between micro gas turbine and metal hydride refrigerator, J. of Korea Refrigeration and Air-Conditioning Industry Association, Vol. 81, pp. 38-44.
3. Kwon, K.W. and Lee, J.Y., 1989, Optimum operating conditions of metal hydride chemical heat pump, J. of the Korean Hydrogen Energy Society, Vol. 1, No. 1, pp. 24-30.